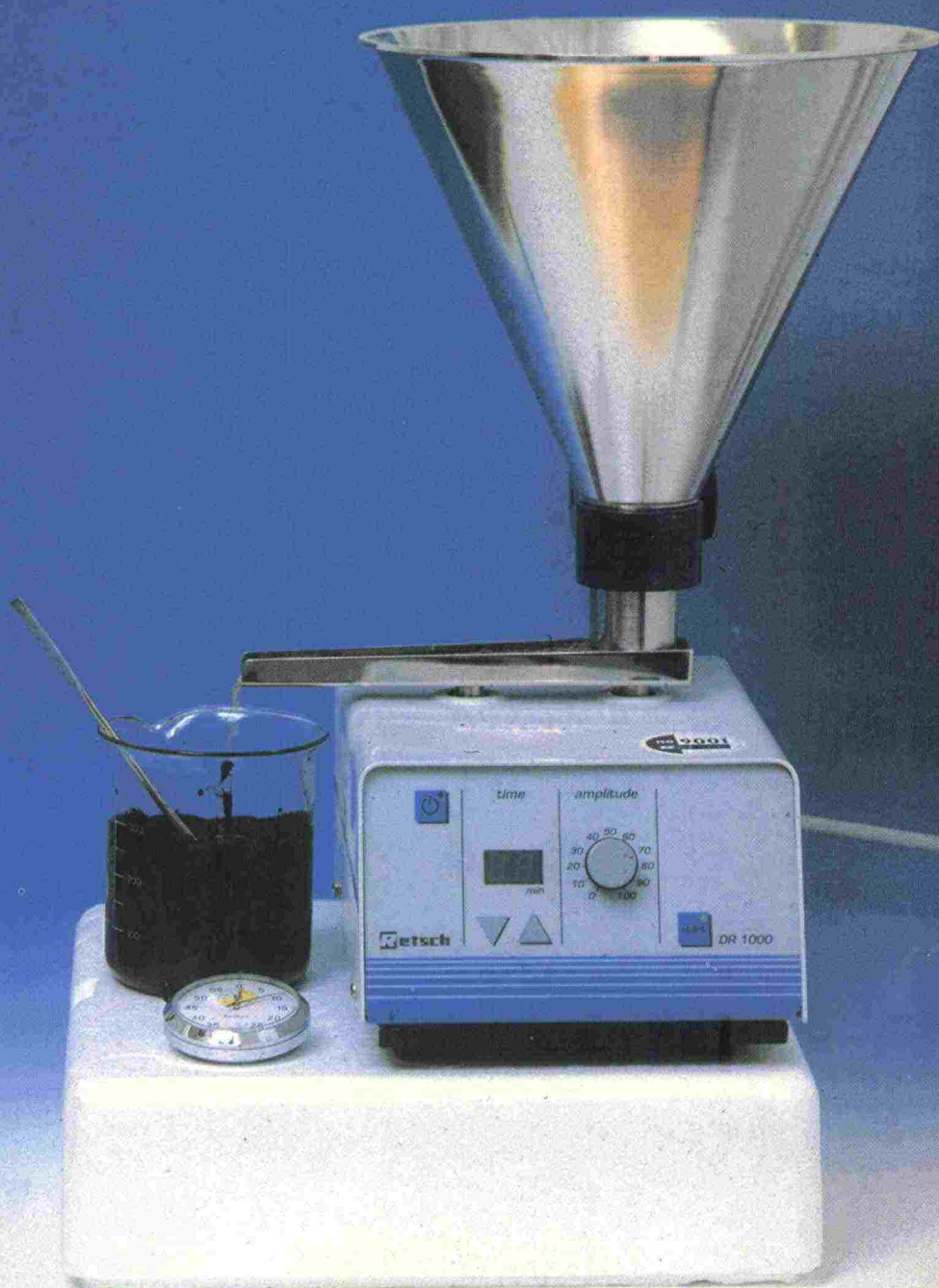


Bitumiemulsion murtumisajan määrittäminen

Tielaitoksen
selvityksiä
81/1995

Helsinki 1995

Kehittämiskeskus



Tielaitoksen selvityksiä
81/1995

Laura Apilo

**Bitumiemulsion murtumisajan
määrittäminen**

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1995

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-157-8
TIEL 3200356
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1995

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Aiheluokka: 42

Asiasanat: bitumiemulsio, murtumisaika, tutkimusmenetelmät, kylmäteknikka

TIIVISTELMÄ

Pyrkimys siirtyä ympäristöystävällisempiin työmenetelmiin on lisäämässä kylmäteknikan ja bitumiemulsioiden käyttöä Suomessa. Uusia kasvavia käyttökohteita ovat olleet uusiosovellutukset. Ikääntyvän tieverkon perusparannustarve kasvaa jatkuvasti, jolloin paikalla kylmänä tehtävät parannustoimenpiteet esim. stabilointi, tulevat yleistymään. Lisäksi kasvumahdollisuuksia on perinteisissä emulsioiden käyttökohteissa.

Kylmäteknikan nykyistä laajempi hyödyntäminen edellyttää kylmänä sekoitettujen massojen käyttäytymisen hallitsemista ja ymmärtämistä sekä suunnitteluvalmiuksia. Kun kylmätekniikkaa käytetään massan valmistuksessa, on keskeistä suunnittelussa emulsion murtumisajan säätäminen massan työstettävyyden takaamiseksi. Ulkomaiset kokemukset bitumiemulsioista ovat lähinnä pintaauksista, eikä emulsiomassojen hallintaan tarvittavia menetelmiä ole saatavissa valmiina ulkomailta. Tästä syystä tässä tutkimuksessa keskityttiin aluksi tutkimus- ja suunnitteluvalmiuksien luomiseen käytettäväksi sekä esitutkimuksessa että kenttälaboratoriossa työn ohjauksessa.

Tutkimuksessa selvitettiin kirjallisuustutkimuksen perusteella ulkomailta emulsion murtumisnopeuden määrittämiseen käytettyjen menetelmien käyttökelpoisuutta emulsioille, jotka ovat kylmämassojen sideaineina. Menetelmistä valittiin kaksi sopivinta, joita kehitettiin edelleen. Jatkossa käytettäväksi suositeltavista kahdesta menetelmästä laadittiin menetelmäkuvaukset.

Emulsion koostumuksen ja iän vaikutusta murtumisaikaan selvitettiin tarkemmin valituilla koemenetelmillä. Keskeinen havainto oli, että murtumisaikaan vaikuttaa ennalta oletettujen muuttujien lisäksi myös bitumipohjaan tartukkeeksi lisätty amiini. Sen sijaan stabiilien massasovellutuksiin käytettävien emulsioiden tapauksessa emulsion iällä ei ole suurta merkitystä murtumisnopeuteen.

Tutkimuksen tuloksena on jatkossa emulsiokohteiden esisuunnitteluun ja laadunvalvontaan käytettävät tutkimusmenetelmät. Lisäksi saatiin runsaasti tietoa emulsion koostumuksen ja murtumisajan välisestä yhteydestä, jota voidaan hyödyntää kohdekohtaisesti sideaineen koostumusta valittaessa.

Finnra classification: 42

Key words: bitumen emulsion, breaking time, design methods, cold mixing

ABSTRACT

The use of cold mixing process and bitumen emulsions is increasing in Finland because of striving to environmental friendly methods of working. Recycling has been a new and strongly growing application for cold mixing. The need for maintenance and strengthening is increasing due to ageing road network. Because of that cold inplace methods will become more popular. The increase in use of cold technique is possible also on traditional applications of bitumen emulsions.

The use of cold technique in new applications requires abilities to control and understand the behaviour of cold mixtures as well as suitable design methods. The adjustment of breaking time is essential to ensure mixture workability. The foreign experiences so far concern mostly surface dressings, so there are no suitable methods available for mixture design. Because of that this research was focused on development of design methods which can be used for design purposes and for quality control in the field laboratory.

In this research the suitability of methods used abroad for determination of breaking time of surface dressings was investigated. The aim was to develop the methods concerning cold mixture design requirements. Two methods, breaking index and washing test, were selected and developed further. Descriptions of methods recommended for upcoming use were prepared.

The influence of emulsion age and composition on breaking time were investigated closer with methods mentioned above. The most important result was the relationship between amine added to the binder before emulsifying and breaking time. It showed up that the antistripping additive as amine has also the character of an emulsifier. Stable emulsions for mixture applications were not susceptible for ageing.

As result this research provides design and quality control methods for determination of slow setting emulsion breaking time. Additionally information concerning influence of emulsion composition on breaking time was obtained. This information is useful by binder selection for a specific application.

ALKUSANAT

Bitumiemulsioiden käyttö asfalttimassojen valmistuksessa on lisääntynyt Suomessa 1990-luvulla huomattavasti. Aluksi kehitystyössä keskityttiin pehmeiden emulsiotekniikalla valmistettujen päällysteiden tutkimiseen, mutta kahden viimeisen vuoden aikana emulsioiden asema on vakiintunut etenkin uusiopäällysteiden lisäsideaineena. Tulevaisuudessa emulgoitua sideainetta käytetään todennäköisesti myös kantavan kerroksen stabiloinnissa ja mahdollisuuksia emulsiotekniikalle on myös kuumasekoitteen ABK:n tai AB:n vaihtoehtona.

Jäykkien AB-uusiomassojen valmistus on lisännyt tarvetta selvittää emulsion murtumisnopeuden määrittämiseen käyttökelpoisia menetelmiä. Tarvetta on ollut sekä menetelmälle, joka soveltuu esitutkimukseen ja työn suunnitteluun ja toisaalta kenttälaboratoriossa käyttökelpoiselle menetelmälle työnaikaiseen laadunohjaukseen. Koska emulsiotekniikkaa käytetään tiiviitten asfalttimassojen valmistukseen ulkomailla vain hyvin rajallisesti, ei näihin sovelluskohteisiin sopivia menetelmiä ole saatavana valmiina muualta.

Emulsion murtumisajan määrittämiseen käytettävien koemenetelmien kehittämiseen liittyvän selvityksen on tilannut tielaitoksen kehittämiskeskus. Laboratoriotutkimukset ja raportointi on tehty VTT:n tie- ja geotekniikan laboratoriossa vuoden 1995 aikana.

Tähän julkaisuun on koottu tulokset, joiden perusteella jatkossa murtumisajan määrittämiseen käytettävät menetelmät valitaan. Laboratoriotulosten perusteella kehitetyn menetelmän toimivuutta on välillä testattu työmaalla, joilta saatujen kokemusten perusteella on tutkimusta suunnattu edelleen. Raporttiin on koottu kenttälaboratorioiden tulokset kesän -95 työmailta sekä valittujen menetelmien osalta tehtyjen jatkotutkimusten antama tieto.

Helsingissä joulukuussa 1995

*Tielaitos
Kehittämiskeskus*

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKUSANAT	5
1 JOHDANTO	7
2 MURTUMISEN TUTKIMUSMENETELMÄT	8
2.1 Tutkimusmenetelmien valinta	8
2.2 Käytetyt materiaalit	8
2.2.1 Sideaineet	8
2.2.2 Kiviainekset	10
2.3 Murtumiskokeet	11
2.3.1 Murtuvuusindeksi (IREC)	11
2.3.2 Reaktiivisuustesti	12
2.3.3 SMS 210	12
2.3.4 Pesukoe	13
3 MENETELMIEN VALITSEMISEKSI TEHTYJEN TUTKIMUSTEN TULOKSET	14
3.1 Murtuvuusindeksi	14
3.2 Reaktiivisuustesti	17
3.3 SMS 210	18
3.4 Pesukoe	19
4 KENTTÄLABORATORIOITTEN TULOKSET	23
5 TARTUKKEEN JA AJAN VAIKUTUS VALITTUIHIN MENETELMIIN	27
5.1 Jatkoselvitysten sisältö	27
5.2 Murtuvuusindeksi	27
5.3 Pesukoe	29
6 YHTEENVETO	31
LIITE 1	Menetelmäkuvaus PANK 4119: Bitumiemulsion murtumisen määrittäminen pesukokeella
LIITE 2	Menetelmäkuvaus PANK 4120: Bitumiemulsion murtuvuusindeksi

1 JOHDANTO

Bitumiemulsion murtumisnopeuden tutkimiseen käytettäviä menetelmiä koskevan selvityksen tarkoituksena oli kehittää yksinkertaisia esitutkimus- ja laadunvalvontamenetelmiä, jotka antavat tietoa emulsion murtumisajasta käytettävillä materiaaleilla. Menetelmien kehittämisen lisäksi haluttiin tarkastella materiaalien ja emulsion iän vaikutuksia emulsion murtumisnopeuteen.

Tähän mennessä on massasovelluskohteissa bitumiemulsioita käytetty lähinnä pehmeiden päällysteiden ja stabilointien sideaineaineina. Pyrkimyksenä on laajentaa emulsioiden käyttöaluetta myös AB-päällysteiden ja etenkin uusiopäällysteiden valmistukseen. Kovempien sideaineiden käyttö asettaa emulsiolle nykyistä tiukemmat vaatimukset. Jotta kylmasekoitus olisi mahdollista myös vaativammissa kohteissa, tarvitaan nykyistä parempia tutkimus- ja suunnitteluvalmiuksia.

Tutkimusmenetelmien kehitystyö toteutettiin kaksivaiheisena

1. Selvitettiin ulkomailla murtumisnopeuden määrittämiseen käytettyjä menetelmiä, joista valittiin parhaiten soveltuvat tarkempaan selvitykseen ja mahdolliseen jatkokehitykseen. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin neljän eri menetelmän käyttökelpoisuutta, ja tutkimuksissa käytettiin murtumisominaisuuksiltaan neljää erilaista emulsiota ja kolmea kiviainesta.

2. Edellisen perusteella valittiin kaksi menetelmää, murtuvuusindeksi ja pesukoe, joita kehitettiin edelleen ja joista laadittiin menetelmäohjeet. Kenttälaboratorioon suunniteltua pesukoea käytettiin työmailla kesällä -95 ja tulosten perusteella suunnattiin jatkotutkimuksia. Tarpeen oli selvittää seuraavien seikkojen merkitystä arvioitaessa kokeiden tarkkuutta, toistettavuutta ja etenkin erottelukykyä:

- tartukkeen vaikutus
- emulsion säilytysajan vaikutus
- suolahapon määrän vaikutus tartukkeellisella emulsiolla, jos emulsiota ei käytetä välittömästi valmistuksen jälkeen

Valmistusmateriaaleissa varioitiin sellaisia seikkoja, joilla tiedettiin olevan vaikutusta emulsion murtumisaikaan. Tarkoitus oli paitsi selvittää muuttujien vaikutuksia murtumisaikaan myös vakiodia menetelmäohjeissa ne seikat, jotka vaikuttavat tulokseen. Koska menetelmien käytön yleistäminen edellyttää yksinkertaista koemenetelmää ja laadunvalvonnassa käyttäminen lisäksi nopeaa tulosta, on menetelmien kehittämisessä kiinnitetty erityistä huomiota näihin asioihin. Tähän yhteenvetoon on koottu sekä laboratoriokokeiden tulokset että työmailta saadut kokemukset. Lisäksi raporttiin on liitetty jatkossa käytettävien menetelmien menetelmäkuvaukset.

2 MURTUMISEN TUTKIMUSMENETELMÄT

2.1 Tutkimusmenetelmien valinta

Tutkimuksessa selvitettiin erilaisten ulkomailla bitumiemulsion murtumisajan määrittämiseen käytettävien tutkimusmenetelmien soveltuvuutta emulsiomassojen suunnittelumenetelmiksi. Kirjallisuusselvitys osoitti, että emulsion murtumisen määrittämiseen ei ole käytössä vakiintuneita menetelmiä, vaan jokainen maa ja yksittäinen laboratoriokin on kehittänyt omat menetelmänsä. Ulkomailta ei siten ollut saatavissa emulsiomassojen suunnitteluun koeteltuja ja pitkälle kehitettyjä valmiuksia.

Tavoitteena oli kehittää muualla käytettyjä menetelmiä edelleen Suomen olosuhteisiin ja käyttökohteisiin soveltuviksi. Menetelmien toivottiin olevan laitteistoiltaan ja tekotavoiltaan niin nopeita ja yksinkertaisia, että niitä voidaan käyttää myös kenttälaboratoriossa emulsion koostumuksen säätämiseen esim. lämpötilan muuttuessa. Laadunvalvonnassa käytettävillä menetelmillä tuloksen saannin nopeus on tärkeää. Menetelmien tulee olla käyttökelpoisia myös sideaineen viskositeettista riippumatta. Bitumiemulsion murtavana kiviaineksena toivottiin voitavan käyttää suunnittelukohteen kiviainesta, jotta materiaalien yhteistoimintaa voidaan kokeen tulosten perusteella arvioida. Tässä tutkimuksessa tarkemmin selvitetty menetelmät valittiin näiden perusteiden mukaan laajasta joukosta ulkomaisia koemenetelmiä.

Eri emulsioiden vertailuun käytettiin menetelmiä, joissa emulsio murrettiin päällystekiviainekseen lajitteen vaihdellessa koemenetelmän mukaan. Menetelmien avulla voidaan verrata keskenään eri emulsioiden murtumisnopeutta ja selvittää mahdollisten emulsioreseptin muutosten vaikutusta murtumisnopeuteen.

Kun käyttökelpoisimmat menetelmät oli valittu, selvitettiin vielä tarkemmin niitten erottelukykä ja käyttökelpoisuutta erilaisten sideaineen koostumuksen muuttujien ja emulsion säilytysajan suhteen. Kokeista laadittiin menetelmäohjeet, joita on tarkoitus noudattaa jatkossa emulsiomassojen esisuunnittelussa ja työmaan ohjauksessa.

2.2 Käytetyt materiaalit

2.2.1 Sideaineet

Neste Oy:n talvella -95 tekemän selvityksen perusteella valittiin ne emulsion koostumuksen muuttajat, joiden vaikutusta tässä tutkimuksessa selvitettiin. Tärkeimmiksi emulsion murtumisaikaan vaikuttaviksi seikoiksi ovat osoittautuneet:

- emulgaattorin määrä
- emulgaattorin laatu

- emulsion pH

Tutkimuksessa käytetyt emulsiot valmistettiin VTT:n laboratorion emulgointilaitteistolla. Bitumina oli kaikissa emulsioissa B650/900.

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa koemenetelmien toimivuuden selvittämiseen käytetyt bitumit olivat tartukkeettomia, amiinina oli ainoastaan emulgaattorina lisätty tuote. Kokeita tehtäessä emulsion valmistuksesta oli kulunut 2-7 vrk. Emulsioiden happamuudet määritettiin heti valmistuksen jälkeen ja 4-5 vrk ikäisinä. Käytettyjen emulsioiden koostumukset selviävät taulukosta 1.

Taulukko 1. Murtumismenetelmien valinnassa käytettyjen emulsioiden reseptit

Nro	Emulgaattori		pH		
	Laatu	Määrä (%)	Vesifaasi	Emulsio < 1 vrk	Emulsio 4-5 vrk
1	Lilamuls BG	0,2	5,0	5,0	5,2
2	Lilamuls BG	0,2	2,0	2,3	2,9
3	Lilamuls BG	0,6	2,0	2,3	3,1
4	Redicote E-4868	0,6	2,0	2,2	3,5

Tutkimuksia jatkettaessa kahdella sopivimmaksi katsotulla menetelmällä käytettiin kolmea emulsiota, taulukko 2. Tartuketta lisättiin nyt myös bitumipohjaan. Tartukkeena oli Raisamin DT ja emulgaattorina Lilamuls BG. Tartukkeen määrä on ilmoitettu paino-% bitumin massasta ja emulgaattorin paino-% koko emulsion massasta. Näiden emulsioiden pH-arvojen kehittymistä seurattiin mittaamalla se heti valmistuksen jälkeen sekä 2 vrk, 7 vrk ja 30 vrk valmistamisesta.

Taulukko 2. Jatkoselvityksissä käytettyjen emulsioiden reseptit

Nro	Tartuke	Emulgaattori Määrä (%)	pH				
	Määrä (%)		Vesifaasi	Emulsio < 1 vrk	Emulsio 2 vrk	Emulsio 7 vrk	Emulsio 30 vrk
5	0	0,3	2,0	3,8	4,4	4,4	4,5
6	0,4	0,3	2,0	7,2	7,3	7,3	7,5
7	0,4	0,3	2,0 + 5,0	6,3	6,8	6,9	7,2
8	0,4	0,3	2,0 + 2,0	2,8	2,9	2,9	3,0

Taulukossa 2 kahdella viimeisellä rivillä mainittujen emulsioiden valmistuksessa suolahapon määrässä otettiin huomioon bitumipohjaan lisätyn tartukkeen neutraloiva vaikutus. Vesifaasi, johon emulgaattori oli lisätty, säädettiin ensin pH-arvoon 2. Tämän jälkeen suolahappoa lisättiin määrä, joka riittää kumoamaan amiinin emäksisyyden emulsiossa 7 pH-arvoon 5 ja emulsiossa 8 pH-arvoon 2.

Tarvittavan suolahapon määrää ei pystytty laskemaan tartukkeena käytetyn amiinin titrauskäyrästä. Käytetyt suolahapon määrät on saatu kokemuseräisesti.

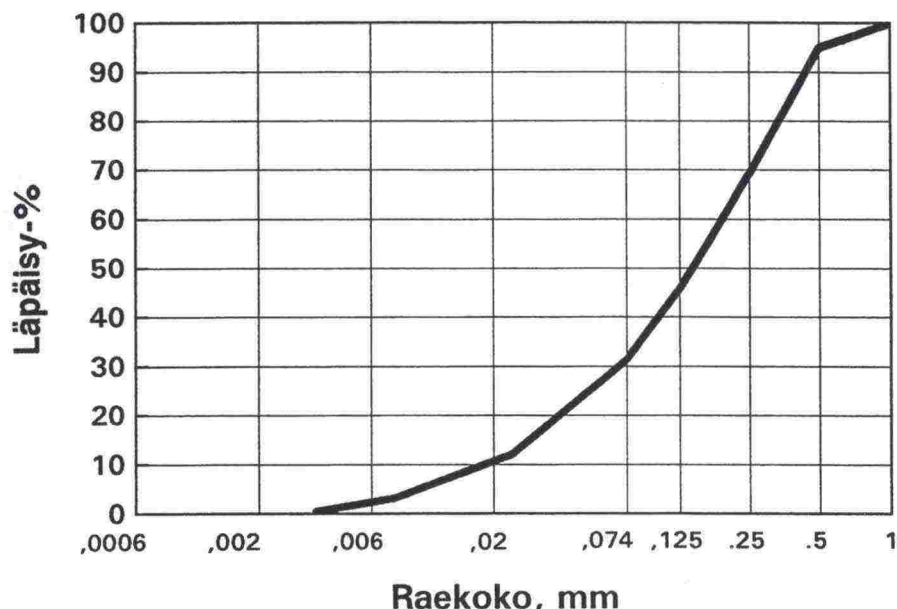
2.2.2 Kiviainekset

Tutkimuksissa käytettiin kahta pintaominaisuuksiltaan toisistaan mahdollisimman paljon poikkeavaa kiviainesta Teiskon granodioriittiä ja Suomusjärven peridotiittiä, jotka kuitenkin molemmat edustavat yleisesti käytettyjä päällystekiviä. Suppeammin selvitettiin murtumisominaisuuksia menetelmien erottelukyvyn arvioimiseksi myös kvartsiitilla. Lisäksi oli murtumisindeksiä määritettäessä referenssinä menetelmässä standardimateriaaliksi määritelty ruotsalainen Forshammarin kiviaines.

Taulukko 3. Kiviainesten ominaisuudet, lajite < 0,074 mm

Kiviaines	Kivilaji	Ominaispinta-ala (m ² /g)	Veden adsorptio (%)	SiO ₂
Teisko	granodioriitti	1,15	0,6	70
Suomusjärvi	peridotiitti	2,86	1,2	40
Tervola	kvartsiitti	0,61	0,2	98

Referenssimateriaalina käytettävä Forshammarin materiaali koostuu kvartsista (45 %) ja kalimaasälvästä (55 %), joten sen SiO₂-pitoisuus on korkea, lähellä 90 %. Kiviaineksen ominaispinta-ala on pieni 0,98 m²/g. Tämä CEN-standardin referenssifilleri on emulsion hyvin hitaasti murtava materiaali. Päällystekiviaineksista sitä parhaiten vastasi Tervolan kvartsiitti. Murtuvuusindeksin määrittämisessä käytettävän standardimateriaalin rakeisuus ilmenee kuvasta 1.



Kuva 1. Referenssifillerin rakeisuus

2.3 Murtumiskokeet

2.3.1 Murtuvuusindeksi (IREC)

Murtuvuusindeksi on menetelmä, joka on valittu CEN-standardiksi bitumiemulsioiden pysyvyyden määrittämiseen. Menetelmäohjeen mukaisesti kokeessa käytetään vakiomateriaalia, joka on ruotsalaista Forshammarin kiviainesta. Saman materiaalin käyttäminen emulsion murtamiseen mahdollistaa emulsioiden vertailemisen keskenään. Kokeen tulos ei tällöin kuitenkaan anna tietoa rakentamisessa käytettävän kiviaineksen ja emulsion yhteistoiminnasta. Tästä syystä on tässä tutkimuksessa käytetty standardimateriaalin ohella myös päällystekiviaineksia. Kiviaineksen valinnan merkityksen ohella on selvitetty sen rakeisuuden vaikutusta murtumiseen.

Murtumisindeksi määritetään lisäämällä tiettyyn määrään bitumiemulsiota hienorakeista kiviainesta tasaisella nopeudella. Emulsion ja kiviaineksen seosta sekoitetaan jatkuvasti kiviaineksen lisäyksen ajan. Laitteisto ja kokeen tekeminen ilmenevät kuvasta 2 ja menetelmäohje on liitteenä 2.

Kiviaineksen syöttönopeus on valittu CEN-standia vastaavaksi eikä sen muutoksen vaikutuksia selvitetty tässä tutkimuksessa. Syöttönopeutta ei nykyisestä voi ainakaan merkittävästi kasvattaa, koska lisätty kiviaines täytyy ehtiä sekoittamaan homogeenisesti emulsioon. Syöttönopeuden hidastaminen antaisi murtumiseen johtaville reaktioille aikaa tapahtua, joten se saattaisi vaikuttaa tulokseen indeksiä pienentävästi.



Kuva 2. Murtumisindeksin määrittäminen

Kun emulsio ja kiviaines muodostavat sekoitusastian sisäpinnoilta irtoavan massan, on emulsio murtunut. Lisätyn kiviaineksen massa prosentteina emulsion määrästä ilmoitetaan murtumisindeksinä. Mitä suurempi murtuvuusindeksi on sitä hitaammin murtuvasta emulsiosta on kyse.

Murtumisindeksin tekeminen ei vaadi monimutkaisia laitteita, joskin kiviaineksen tasainen syöttö edellyttää erillistä laitetta. CEN-menetelmässä sekoitus tapahtuu lisäksi konellisesti, mutta tuloksen luotettavuus ei kärsi käsinsekoituksesta. Tarvittavien investointien suuruus ei estä menetelmän käyttöä ainakaan esisuunnittelussa kiinteissä laboratorioissa.

2.3.2 Reaktiivisuustesti

Reaktiivisuustestillä selvitetään murtumisnopeutta määrittämällä tietyn ajan jälkeen 4-6 mm kiviainesfraktion pintaan tarttuneen bitumin määrä.

Kokeessa kiviainekseen lisätään bitumiemulsiota, sekoitetaan ja lisätään emulgaattoriliuosta. Massa kaadetaan seulaverkolle, jolloin murtumaton emulsio erottuu. Massaa pestään kiehuvalle vedelle. Seula kuivataan ja punnitaan. Kiviainesta pestään seulan päällä trikloorietaanilla kunnes liuos on kirkasta. Seula kuivataan ja punnitaan. Erotuksena saadaan mineraalipinnalle murtuneen ja tarttuneen bitumin määrä.

Menetelmän toivotaan antavan tietoa etenkin murtumisen alkamisajankohdasta ja reaktioiden nopeudesta heti emulsion ja kiviainespinnan kohdattua. Suuri reaktiivisuuden arvo osoittaa, että murtuminen alkaa nopeasti sekoituksen jälkeen ja on alussa voimakasta.

2.3.3 SMS 210

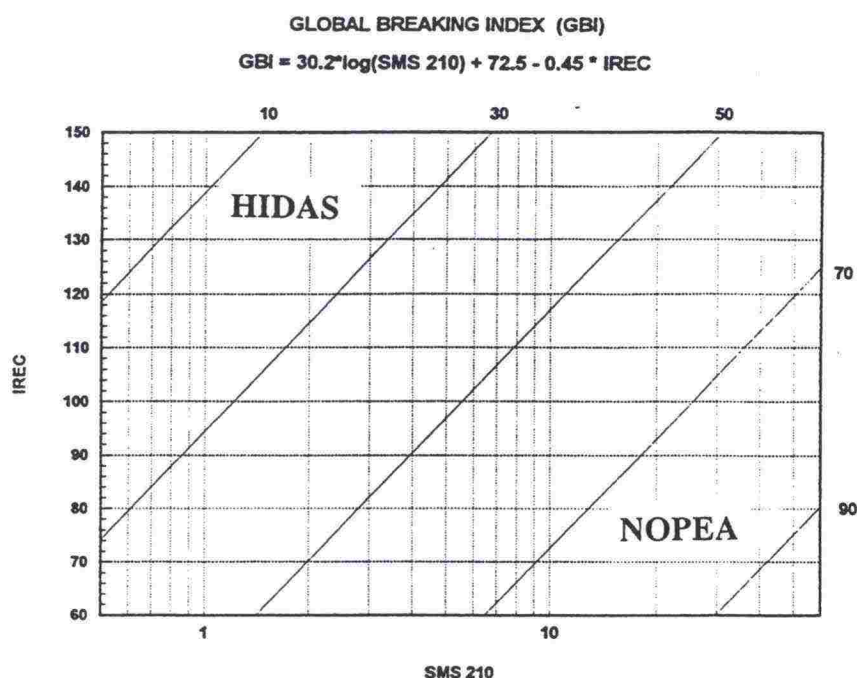
Edellä esitellyn menetelmän tapaan tämäkin murtuvuuskoe perustuu kiviaineksen pinnalle murtuneen bitumin määrän selvittämiseen pesemällä murtumaton emulsio näytteestä.

Kiviaineksena käytetään 2-4 mm fraktiota, jota säilytetään ennen kokeen tekemistä vakiokosteudessa. Kiviainekseen lisätään bitumiemulsiota, jonka annetaan reagoida 1 tunnin ajan eksikaattorissa. Tämän jälkeen pestään murtumaton emulsio pois vedellä ja määritetään punnitustulosten erotuksena kiviainekseen tarttuneen bitumin määrä.

Koska näytteen annetaan ennen sen pesemistä vanheta tunnin ajan, mittaa SMS 210-kokeen tulos hitaan emulsion murtumisen kestoa ja todennäköisesti osittain myös tarttuvuutta. Suuri tulos kokeessa merkitsee, että murtuminen on ehtinyt tapahtua lähes täydellisesti. Heikko tarttuvuus saattaa aiheuttaa virheen tuloksen tulokinnassa.

SMS 210 -kokeen ja murtuvuusindeksin tulokset voidaan esittää yhdistettyinä laskemalla nk. GBI, Global Breaking Index. Tämä tunnusluku on tarkoitettu käytettäväksi lähinnä silloin, kun murtuvuusindeksin määrittämiseen käytetään referenssimateriaalia. Pelkkä murtuvuusindeksi ei tällaisessa tapauksessa kuvaa emulsion murtumisnopeutta käytettävän

kiviaineksen kanssa. GBI mahdollistaa emulsion murtumisnopeuden esittämisen yhdellä tunnusluvulla, jossa murtumisnopeuden arviointi perustuu sekä referenssimateriaaliin että kohteessa käytettävään kiviainekseen.



Kuva 3. Murtuvuusindeksin ja SMS 210-kokeen tulosten yhdistäminen

Tulosten analysoinnin helpottamiseksi käytetään kuvan 3 mukaista diagrammia, jossa murtumisnopeus kasvaa vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas. GBI -arvon sijoittuminen diagrammin vasempaan alanurkkaan osoittaa murtumisen alkavan nopeasti, mutta jatkuvan pitkään.

2.3.4 Pesukoe

Erilaiset pesukokeet ovat yleisimpiä murtumisnopeuden määrittämiseen käytettyjä kokeita. Koejärjestelyt vaihtelevat laboratorioittain ainakin käytetyn kiviainesfraktion ja näytteen vanhennusajan osalta. Menetelmille yhteistä on yksinkertaisuus ja nopeus, joten ne soveltuvat hyvin myös laadunohjaukseen.

Seuraavassa esitetty pesukoe on kehitetty erilaisten menetelmien yhdistelmänä. Kokeen kehitysvaiheessa selvitettiin mahdollisuutta käyttää erilaisia kiviaineksen rakeisuuksia ja murtumisaikoja. Saatujen kokemusten perusteella päädyttiin seuraavassa esitettyyn ratkaisuun.

Kokeessa käytetään 4-8 mm pestyä lajitetta. Emulsio ja kiviaines sekoitetaan, näytteen annetaan vanhentua ennalta määrätty aika, ja näyte pestään seulaverkon päällä. Pesty ja kuivattu näyte punnitaan ja tuloksena ilmoitetaan kiviainekseen jääneen bitumin määrä. Menetelmän tarkempi kuvaus on liitteenä 1.

3 MENETELMIEN VALITSEMISEKSI TEHTYJEN TUTKIMUSTEN TULOKSET

3.1 Murtuvuusindeksi

Koska murtumisindeksi on valittu CEN-standardoinnissa emulsioiden murtumisnopeuden luokituskokeeksi, toivotaan sen hyödyntämistä myös arvioitaessa emulsion murtumisnopeutta käytettävän kiviaineksen kanssa. Kokeen tekemiseen tarvittavat valmiudet on suhteellisen helposti hankittavissa useimpiin kiinteisiin laboratorioihin.

Murtumisindeksi tehtiin aluksi kolmella kiviaineksella <0,074 mm lajitteista. Kokeen toistettavuuden arvioimiseksi indeksejä määritti kaksi laboranttia, jotka kumpikin tekivät kolme rinnakkaista koetta. Menetelmä osoittautui hyvin toistettavaksi, ± 3 g tavanomaisilla päällystekiviaineksilla, eikä myöskään eri laboranttien saamien tulosten välillä ollut tätä suurempaa vaihtelua. Taulokkoon 4 on koottu kolmella päällystekiviainesfillerillä määritetyt murtuvuusindeksit sekä ilmoitettu samoilla materiaaleilla tehtyjen kokeiden keskihajonnat. Koska hajonnat olivat pieniä, tyydyttiin jatkokokeissa kahteen rinnakkaismäärittämiseen.

Murtumishetken arvioiminenkin oli yksiselitteistä, kun sideainepohjana oli B 650/900. Pehmeämmän bitumin käyttäminen vaikeuttaa kokemusten mukaan murtumishetken arvioimista, ja pehmeillä bitumeilla ei edellä mainittua toistettavuutta saavuteta. Vaikka kohteessa käytettäisiinkin pehmeää bitumia V1500 tai V3000, on tästä syystä emulsion reseptiä määritettäessä bitumiksi parempi valita hieman jäykempi sideaine B 650/900.

Taulukko 4. Kolmella päällystekiviainesfillerillä määritetyt murtuvuusindeksit

Emulgaattori		Emulsion pH	Fillerit					
Laatu	Määrä (%)		< 0,074 Teisko	KH	< 0,074 Suomusj.	KH	< 0,074 Kvarts.	KH
1. BG	0,2	5	49,7	1,7	36,7	1,4	94,3	3,8
2. BG	0,2	2	44,1	2,2	40,1	2,8	115,0	4,3
3. BG	0,6	2	48,0	1,2	44,6	1,8	121,4	3,6
4. E-4868	0,6	2	48,4	2,7	41,4	2,7	136,2	3,4

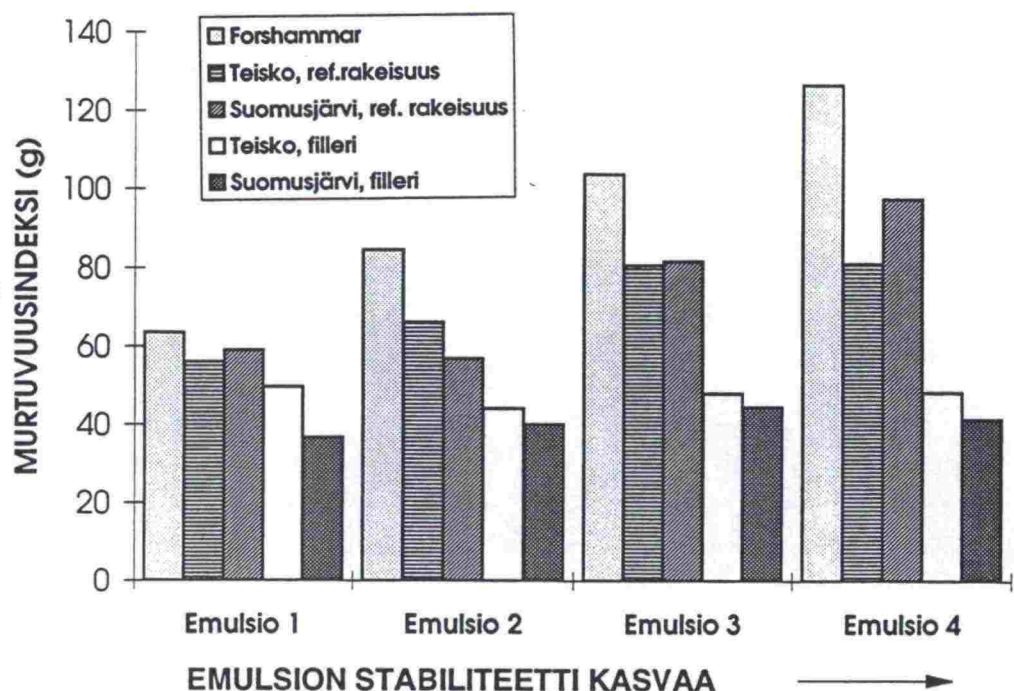
Tavallisia päällystekiviaineksia edustamaan valituilla Teiskon ja Suomusjärven hienoaineksilla erot eri sideaineiden murtumisnopeuksien välillä jäivät hyvin pieniksi. Myöskään näiden kahden kiviaineksen välille ei löytynyt selkeää eroa, tosin etenkin epästabiileimmalla emulsiolla Suomusjärven hienoaines mursi emulsion Teiskoa nopeammin. Absoluuttiset erot jäivät kuitenkin kaikkiaan niin pieniksi, ettei menetelmä <0,074-lajitteesta tehtynä anna mahdollisuutta arvioida murtumisnopeutta. Lähes kokonaan kvartsia olevalla kvartsiitilla murtuminen oli huomattavasti hitaampaa kuin kahdella muulla kiviaineksella.

Esisuunnittelussa ja laadunvalvonnassa käytettävältä menetelmältä edellytetään edellä havaittua parempaa erottelukykä. Menetelmän kehityskelpoisuuden selvittämiseksi määritettiin murtuvuusindeksit CEN-menetelmän mukaisella referenssimateriaalilla ja lisäksi päällystekiviaineiksilla, joiden rakeisuus suhteitettiin mahdollisimman tarkasti referenssimateriaalin rakeisuuskäyrän mukaiseksi (taulukko 5). Alle <0,074 mm rakeiden jakaumaan ei seulonnalla ollut mahdollisuutta vaikuttaa. Emulsiot ovat taulukossa 1 esitetyt, joissa bitumina on tartukkeen B 650/900.

Taulukko 5. Murtuvuusindeksit referenssimateriaalilla ja vastaavaan rakeisuuteen suhteitetuilla päällystekiviaineiksilla

Emulgaattori	Määrä (%) ja pH	Referenssi- materiaali	Referenssikäyrä < 1 mm	
			Teisko	Suomusjärvi
1. BG	0,2 / 5	63,5	56,0	59,1
2. BG	0,2 / 2	84,6	66,2	57,0
3. BG	0,6 / 2	103,9	80,8	81,8
4. E-4868	0,6 / 2	126,7	81,2	97,6

Rakeisuuden vaikutus murtuvuusindeksiin osoittautui ratkaisevaksi. Referenssimateriaalin rakeisuuskäyrää käytettäessä erottelukyky parani huomattavasti verrattuna pelkällä hienoaineksella määritettyihin indekseihin. Murtuvuusindeksit eri rakeisuuksilla näkyvät kuvassa 4.

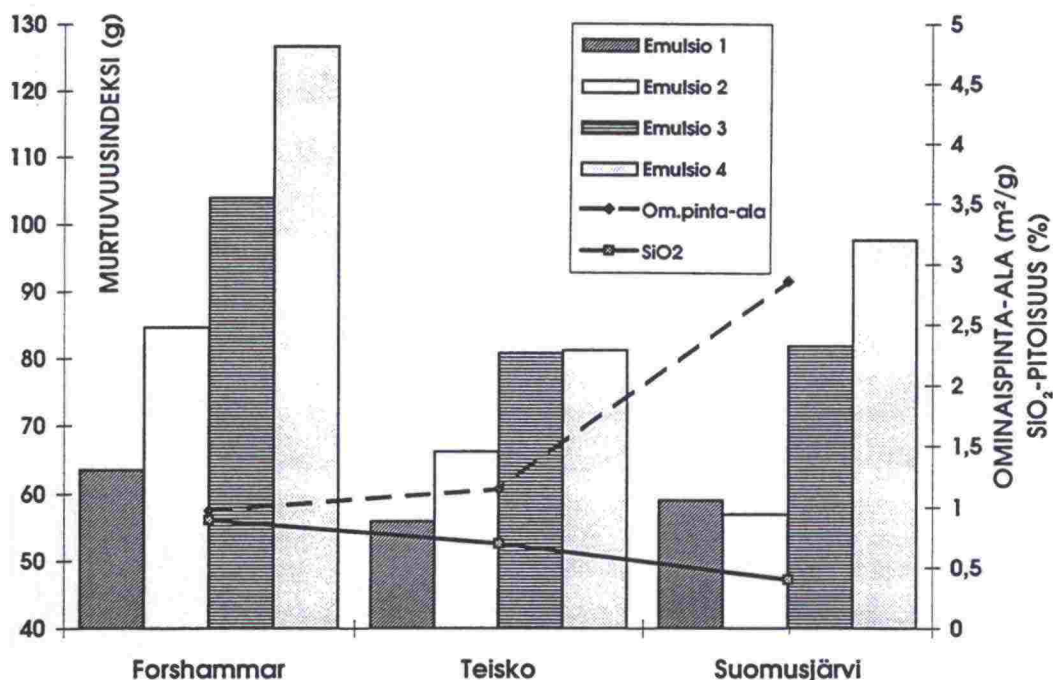


Kuva 4. Kiviaineksen rakeisuuden vaikutus murtuvuusindeksiin

Kiviaineksen ominaisuuksista murtumisnopeuteen vaikuttavat ainakin ominaispinta-ala ja mineraalikoostumus. Saadut tulokset osoittavat:

- korkea SiO_2 -pitoisuus hidastaa murtumista
- suuri ominaispinta-ala nopeuttaa murtumista etenkin epästabiileilla massoilla
- mineraalikoostumus on ominaispinta-alaa merkittävämpi murtumisnopeuden säätäjä

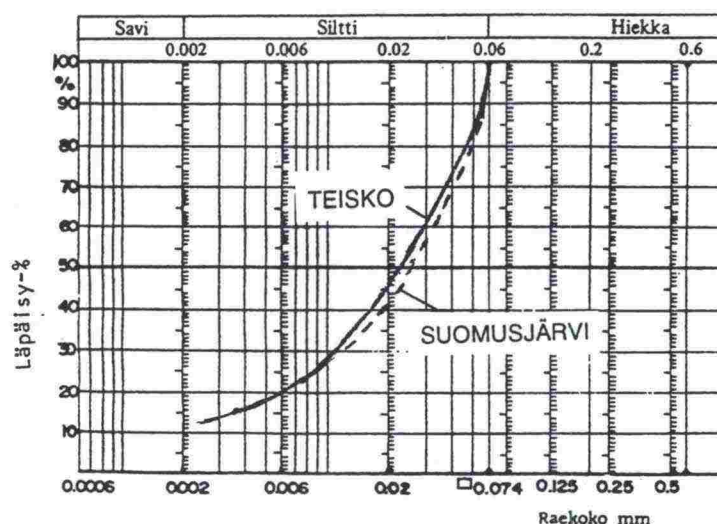
Referenssimateriaalilla saadut erot eri emulsioiden välillä olivat selkeitä. Pieni ominaispinta-ala ja hitaasti murtava mineraalikoostumus tekevät materiaalista epäreaktiivisen, joten tarvitaan suurempi määrä materiaalia, enne kuin sen vaikutus riittää murtamaan emulsion. Kokonaismäärien kasvaessa myös absoluuttiset erot kasvavat ja tulevat helpommin havaittaviksi, kuva 5.



Kuva 5. Murtuvuusindeksien ja kiviainesten ominaisuuksien välinen yhteys

Referenssimateriaalilla saadut tulokset osoittavat, että päällystekiviainesten käyttö edellyttää painoyksikköä kohden ominaispinta-alan pienentämistä, jotta eroja saadaan aikaan. Jos kiviainekselle on tyypillistä suuri ominaispinta-ala tai nopeasti emulsion murtava mineraalikoostumus, korostuu pinta-alan vähentämisen tarve. Tässä selvityksessä kokeiltiin suppeasti myös mahdollisuutta käyttää referenssimateriaalin rakeisuuteen verrattuna vieläkin karkeampaa rakeisuutta, mikä olisi helpottanut näytteen valmistusta. Rakeisuuden karkeuttaminen aiheutti kuitenkin lukuisia ongelmia kiviaineksen tasaisessa syötössä ja etenkin murtumishetken arvioinnissa, jotka heikensivät toistettavuutta ja lisäsivät hajontoja huomattavasti.

Näiden kokemusten perusteella on 0-1 mm kiviaines, joka $>0,074$ rakeisuudeltaan on referenssimateriaalin kaltaista, sopivinta murtuvuusindeksin määrittämiseen. Käytettyjen päällystekiviainesten hienoainesten rakeisuus ilmenee kuvasta 6.



Kuva 6. Murtuvuusindeksimäärittäyksissä käytettyjen kiviainesten $< 0,074$ mm rakeisuus

Saatujen kokemusten perustella murtuvuusindeksi voidaan määrittää myös päällystekiviaineksella, jolloin kokeella on mahdollisuus saada tietoa käytettävien materiaalien käyttäytymisestä yhdessä. Kokeen erottelukyvyn parantamiseksi tällöin on kuitenkin käytettävä fraktiota, joka on lähellä kuvassa 1 esitettyä referenssimateriaalin rakeisuutta. Rakeisuusvaatimus vaikeuttaa näytteen valmistusta etenkin kenttälaboratoriossa, joten tällaisena koe on käyttökelpoinen lähinnä esisuunnittelumenetelmänä.

3.2 Reaktiivisuustesti

Tällä murtumisnopeuden tutkimusmenetelmällä tehtiin kokeita ainoastaan kahdella kiviaineksella. Taulukossa 6 esitetyt tulokset ovat kolmen kokeen keskiarvoja.

Taulukko 6. Reaktiivisuuskokeiden tulokset ilmoitettuina kiviaineksen pintaan murtuneen bitumin määränä

Emulgaattori		Reaktiivisuus (g)			
Laatu	Määrä (%) ja pH	Teisko	KH	Suomusjärvi	KH
1. BG	0,2 / 5	0,53	0,08	0,86	0,09
2. BG	0,2 / 2	0,37	0,12	0,41	0,11
3. BG	0,6 / 2	0,25	0,10	0,43	0,18
4. E-4868	0,6 / 2	0,20	0,06	0,33	0,10

Kokeen odotettiin soveltuvan hyvin murtumisen alkamishetken määrittämiseen ja murtumisnopeuden arvioimiseen pian sekoituksen jälkeen. Kaikissa tehdyissä kokeissa kiviainekseen ehti murtua erittäin vähän emulsiota, kuten pienet lukuarvot osoittavat. Vaikka tulosten suhteelliset erot ovatkin selkeitä, vaikeuttaa luotettavien tulosten saantia mittaustarkkuus, koska painonmuutokset jäivät hyvin pieniksi.

Menetelmä saattaa olla paremmin soveltuva nopeammin murtuvien emulsioiden, esim. pintaemulsioiden tutkimiseen. Jos emulsion murtuminen alkaa hyvin nopeana, murtuu rakeiden pintaan enemmän bitumia, ja menetelmän erottelukyky paranee.

Koe oli erityistä tarkkuutta vaativa ja hankala tehdä kiinteässäkin laboratorioissa. Vaikka välineet ovatkin yksinkertaisia, ei koe sovellu hyvin kenttälaboratorioon pienipiirteisyytensä vuoksi. Menetelmän erottelutarkkuutta voitaisiin parantaa esim. näytekokoa kasvattamalla. Massojen valmistuksessa käytettävien hitaasti murtuvien emulsioiden testaukseen se ei kuitenkaan osoittautunut sopivaksi.

3.3 SMS 210

SMS 210- kokeilla tutkittiin murtumisastetta tunnin ikäisistä näytteistä. Toisin kuin reaktiivisuuskoe SMS 210 ilmaisee murtumisen alkamisajankohdan sijasta sen, miten pitkälle murtuminen on tunnissa ehtinyt edetä.

Tutkimukset tehtiin kolmena rinnakkaisena kokeena, joiden tulosten keskiarvo on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. SMS 210-kokeiden tulokset ja IREC:n kanssa GBI:ksi yhdistettyinä

Emulgaattori		SMS 210				GBI	
Laatu	Määrä (%) ja pH	Teisko	KH	Suomusj.	KH	Teisko	Suomusj.
1. BG	0,2 / 5	0,92	0,15	0,94	0,22	49,0	55,2
2. BG	0,2 / 2	0,68	0,19	0,88	0,28	47,6	52,8
3. BG	0,6 / 2	0,40	0,16	0,42	0,24	38,9	41,1
4. E-4868	0,6 / 2	0,20	0,11	0,32	0,13	29,4	38,9

Kuten edellisessä menetelmässä myös tällä kokeella ongelmana oli näytteen pienen koon vuoksi mittaustarkkuus, koska absoluuttiset muutokset massoissa jäivät hyvin pieniksi. Tämä ongelma ilmeni selvästi melko suurina hajontoina. Suurempi näytekoko helpottaisi punnitsemista ja parantaisi mittaustarkkuutta.

Suhteelliset erot sideaineiden välillä olivat merkittäviä ja loogisia. Kiviainesten välille ei samoilla sideaineilla saatu juurikaan eroa varsinkaan epästabiileimmilla emulsioilla. Tämä osoittaa näytteen vanhennusajan

olevan niin pitkä, että emulsiot ehtivät murtua pitkälle kiviaineksesta riippumatta vanhennuksen aikana. Erittäin stabiilien emulsioiden ja tietyn kiviaineksen yhteensopivuutta menetelmällä voidaan tämän perusteella arvioida.

Kun pitkälle murtuneesta näytteestä määritetään kiviaineksen pinnalle pestessä jäävän bitumin määrä, vaikuttaa tulokseen murtumisasteen ohella myös vedenkestävyys. On luultavaa, että tartukkeellisella sideaineella kiviaineksen pintaan jäävän bitumin määrä olisi nyt mitattuja määriä suurempi.

3.4 Pesukoe

Kaksi edellä esiteltyä koemenelmää perustuivat pesun jälkeen näytteeseen murtuneen sideaineen määrän selvittämiseen. Tässä suhteessa pesukokeen nimellä kulkeva menetelmä ei poikkea edellisten periaatteesta. Tämä koemenetelmä on yhdistetty eri laboratorioissa käytetyistä näytteen pesemiseen perustuvista murtumiskokeista. Koetta on pyritty muokkaamaan siten, että se olisi mahdollisimman yksinkertainen sekä välineiltään että tekotavaltaan.

Edellisistä menetelmistä poiketen tässä kokeessa murtumisastetta selvitetään eri ikäisistä näytteistä tehtävän pesusarjan avulla. Kun tutkitaan useampia eri ikäisiä näytteitä, voidaan selvittää sekä murtumisen alkamisajankohtaa että sen etenemistä. Koe antaa tässä suhteessa edellä esiteltyjä menetelmiä monipuolisempaa tietoa murtumistapahtumasta.

Taulukoihin 8 ja 9 on koottu pesukokeiden tulokset eri sideaineilla Teiskon ja Suomusjärven kiviaineksilla.

Taulukot 8 ja 9. Pesukokeiden tulokset

Emulgaattori		Teisko (g)		
Laatu	Määrä (%) ja pH	15 min	30 min	120 min
1. BG	0,2 / 5	0,38	0,42	0,57
2. BG	0,2 / 2	0,11	0,28	0,67
3. BG	0,6 / 2	0,12	0,27	0,39
4. E-4868	0,6 / 2	0,08	0,18	0,26

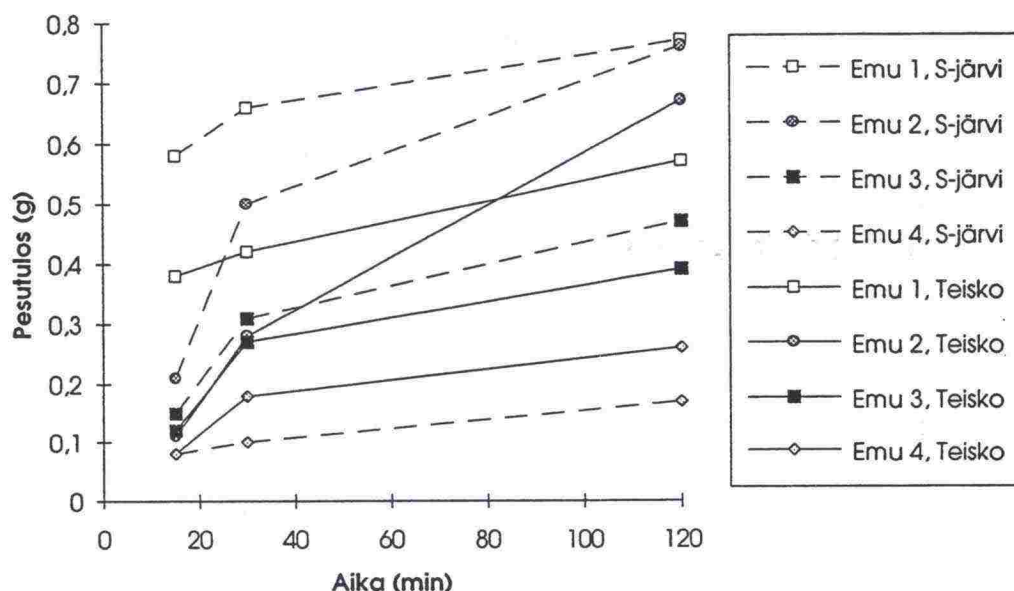
Emulgaattori		Suomusjärvi (g)		
Laatu	Määrä (%) ja pH	15 min	30 min	120 min
1. BG	0,2 / 5	0,58	0,66	0,77
2. BG	0,2 / 2	0,21	0,50	0,76
3. BG	0,6 / 2	0,15	0,31	0,47
4. E-4868	0,6 / 2	0,08	0,10	0,17

Kokeeseen valittiin aluksi käytettäväksi kolme pesuaikaa 15, 30 ja 120 min. Ajat valittiin toisistaan niin paljon poikkeaviksi, että stabiileillakin emulsioilla murtuminen ehtii edetä ja loppua ennen vanhimman näytteen pesua. Aikasarja antaa hyvän mahdollisuuden seurata emulsion murtumisen etenemistä. Taulukoissa 8 ja 9 ja kuvassa 7 esitetyistä tuloksista havaitaan seuraavaa:

- 15 minuuttia on sopiva aika kertomaan murtumisen alkamisesta. Epästabiileimmalla emulsiolla nro 1 (pH 5) oli kiviainesten välillä havaittavissa eroja jo 15 min kuluttua sekoittamisesta, stabiilimmilla emulsioilla sitävästoin lähes kaikki sideaine huuhtoutui pois eli murtuminen ei ollut vielä alkanut. Jos toivotaan hidasta murtumista, pitäisi näiden tulosten perusteella 15 minuutin pesukokeen tuloksen olla lähellä nollaa.
- 30 minuutin ikäisillä näytteillä murtuminen oli edennyt jo huomattavasti pitemmälle. 15 min ikäiseen näytteeseen verrattuna suurimmat erot saatiin emulsioilla 2 ja 3, joiden murtuminen etenee siis voimakkaasti, kun sekoituksesta on kulunut yli 15 minuuttia mutta alle puoli tuntia. Hitaimmalla emulsiolla murtuminen oli puolen tunnin jälkeen vasta alkanut.
- 120 minuutin ikäisten näytteiden pesutulosten erot olivat nopeimmin murtuvilla emulsioilla tasoittuneet. Vaikka murtuminen olisi ehtinyt loppua jo puolessa tunnissa, selittää suurempaa pesutulosta näytteen ikääntyessä paraneva tarttuvuus. Enemmän emulgaattoria sisältävät emulsiot 3 ja 4 eivät vielä 120 minuutin jälkeenkään olleet täysin murtuneita. Koska niissä on enemmän amiinia on oletettavaa, että murtumisen päätyttyä pesukokeen tulos nousee suuremmaksi kuin emulsioilla 1 ja 2. Kahden tunnin kuluttua sekoittamisesta näin ei kuitenkaan vielä ehtinyt käydä.

Tutkittujen emulsioiden vertailu osoittaa, että emulsiossa 4 emulgaattorina käytetty E-4868 hidastaa murtumista etenkin emäksisillä vähän SiO_2 :a sisältävillä kiviaineksilla. Havaintoa tukee myös murtuvuusindeksin tulokset.

Ominaispinta-alan on todettu vaikuttavan murtumisnopeuteen. Hienojen fraktioiden ominaispinta-alat ja suhteelliset osuudet ovat siten tärkeitä murtumisnopeuden kannalta. Rakeisuudeltaan alle 4 mm fraktiot kuvaavat hyvin materiaalin ominaispinta-alan vaikutusta. Tästä syystä koetta yritettiin tehdä myös 0-8 mm ja 0-16 mm rakeisuuksilla. Näytettä pestessä hienoimmat fraktiot kuitenkin helposti huuhtoutuvat pois ja vaikeuttavat näytteen käsittelyä aiheuttaen seulan tukkeutumisen näytettä pestäessä. Näytteen huono käsiteltävyys heikentää tulosten luotettavuutta ja tulosten hajonnat kasvavat suuriksi, kun pesuhäviö koostuu bitumin ohella myös hienoaineksesta. Jotta koe olisi mahdollisimman yksinkertainen ja tulokset luotettavia alkeellisimmissa kenttälaboratorion olosuhteissakin tehtyinä päätettiin pesukokeessa tyytyä 4-8 mm fraktion käyttöön.



Kuva 7. Emulsioiden murtumisen eteneminen pesukokeiden tulosten perusteella eri kiviaineksilla

Tässä selvityksessä ei tutkittu tartukkeen vaikutusta pesukokeen tuloksiin. Tartukkeellisen sideaineen käyttäminen kuitenkin vaikuttaa tuloksiin varsinkin silloin, kun kiviaines on vedenkestävyydeltään heikkoa. Tämän osoittavat tehdyt kokeet, sillä kiviainekseen sekoitetusta bitumista enimmilläänkin vain runsaat 25 % pysyi pesussa kiviaineksen pintaan tarttuneena.

Tartukkeettomalla sideaineella tehdyssä pesukokeessa osa murtuneestakin bitumista huuhtoutuu pois, joten murtuminen näyttää koetulosten perusteella todellista hitaammalta. Koska kaikki tutkitut emulsiot olivat tartukkeettomia, on raja-arvojen asettaminen ja tulosten arviointi tässä suhteessa vaikeaa. Tuloksia tulkittaessa tulisi vedenkestävyyden vaikutus kyetä eliminoimaan. Absoluuttisten raja-arvojen sijasta on tästä syystä ratkaisevampaa kuvassa 7 esitettyjen kuvaajien muoto. Bitumin määrän muutos ajan funktiona osoittaa murtumisnopeuden kiviainekohtaisesti. Tartukkeen merkitys pesukokeen tuloksiin on tärkeää selvittää tarkemmin, jotta koetta voidaan käyttää laajemmin.

Seuraavassa on vertailtu murtuvuusindeksiin ja pesukokeen antamien tuloksien välisiä korrelaatioita. Lisäksi on arvioitu kokeiden erottelukykä erilaisia emulsioita tutkittaessa. Emulsiot on taulukossa 1 oletetun stabiilisuuden mukaisessa järjestyksessä siten, että emulsio 1 on epästabiilein. Korrelaatiotarkastelussa on selvitetty, miten hyvin koetulokset tukevat tätä käsitystä. Korrelaatiot on laskettu yksittäisistä tuloksista eikä taulukoissa esitetyistä tulosten keskiarvoista.

Taulukko 10. Murtuvuusindeksin ja pesukokeen tulosten korrelaatiot sekä kokeiden kyky erottaa murtumisnopeudeltaan erilaiset emulsiot

	IREC	Emulsio
Pesukoe / 15	-0,68	-0,82
Pesukoe / 30	-0,84	-0,86
Pesukoe / 120	-0,90	-0,88
Emulsio	0,91	

Korrelaatiotarkastelusta ilmenee seuraavaa:

- Vertailtujen menetelmien tulosten korrelaatio paranee pesukokeessa käytetyn näytteen vanhennusajan pidentyessä. Murtuvuusindeksi kuvaa tämän perusteella murtumisen kestoa ennemmin kuin sen alkamishetkeä tai nopeutta murtumisen alkuvaiheessa, joita voidaan tutkia mieluummin pesukokeella.
- Molemmilla käytetyistä menetelmistä on hyvä erottelukyky emulsion murtumisnopeuden muuttuessa.

4 KENTTÄLABORATORIOITTEN TULOKSET

Laboratoriokokeiden perusteella kenttäkokeeksi soveltuu parhaiten pesukoe, joka asettaa vähäisimmät vaatimukset laitteille ja olosuhteille. Kokemusten kartuttamiseksi annettiin kesän -95 emulsiotyömaille pesukokeen ohjeet (liite 2) ja pyydettiin, että muiden laadunvalvontakokeiden ohella laborantit tutkisivat myös emulsion murtuvuutta.

Kokeita tehtiin sekä päällyste- että stabilointityömaille. Tehtyjen kokeiden tulokset on koottu taulukkoihin 11 ja 12. Jotta punnitseminen olisi helpompaa ja suhteelliset virheet jäisivät pienemmiksi, käytettiin kenttälaboratorioissa näytekokoa, joka oli viisinkertainen kiinteässä laboratoriossa käytettyyn verrattuna. Verrattaessa esitutkimus- ja kenttälaboratorioitten tuloksia on tämä seikka syytä ottaa huomioon.

Taulukko 11. Kenttälaboratorioitten pesukoetulokset, stabilointikohteet (jäävä sideaine, g)

Massa	Sideaine	Amiinia	15 min	30 min	150 min	Kohde
BEST	B160/200	T0,4	6,9	7,4	7,2	Kt 78
BEST	B160/200	T0,4	5,9	6,6	6,1	Kt 78
BEST	B160/200	T0,4	6,5	7,1	7,5	Kt 78
Keskiarvo			6,4	7,0	6,9	
BEST	B160/200	T0,4	4,5	5,3	6,3	Vt 21
BEST	B160/200	T0,4	4,6	5,2	5,3	Vt 21
BEST	B160/200	T0,4	5,2	5,1	5,9	Vt 21
Keskiarvo			4,8	5,2	5,8	
BEST	B160/200	T0,4	7,1	7,4	8,4	Vt 4
BEST	B160/200	T0,4	6,8	7,6	7,3	Vt 4
BEST	B160/200	T0,4	5,8	6,0	7,3	Vt 4
Keskiarvo			6,6	7,0	7,7	
BEST	B160/200	T0,4	8,3	7,3	9,0	Mt 941
BEST	B160/200	T0,4	8,8	8,1	10,1	Mt 941
BEST	B160/200	T0,4	9,8	8,5	8,6	Mt 941
Keskiarvo			9,0	8,0	9,2	
BEST	B160/200	T0,4	7,3	7,6	7,8	Kt 79
BEST	B160/200	T0,4	7,4	7,1	7,8	Kt 79
Keskiarvo			7,4	7,4	7,8	
ABK	EKB		30,4	30,9	30,4	Ylöjärvi

Taulukko 12. Kenttälaboratorioitten pesukoetulokset, päällystekohteet (jäävä sideaine, g)

Massa	Sideaine	Amiinia	15 min	30 min	Emulsion ikä	Asemapaikka
AB 18	B160/220	0,8		7,4		Mustasuonkangas
AB 18	B160/220	0,8	9,2	8,3		Mustasuonkangas
AB 18	B160/220	0,8	6,4	5,5		Mustasuonkangas
AB 18	B160/220	0,8	6,0	6,5		Mustasuonkangas
Keskiarvo			7,2	6,9		
PAB-B 16	B500/800	0,7	0,6	1,3	1vrk	Pöykiönkangas
PAB-B 16	B500/800	0,7	1,1	0,9	1vrk	Pöykiönkangas
PAB-B 16	B500/800	0,7	1,0	0,8	1vrk	Pöykiönkangas
Keskiarvo			0,9	1,0		
AB 18	B160/220	0,7	0,8	1,3	1vrk	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	1	1,1	1vrk	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	1	1,2	1vrk	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	0,4	0,8	3 vrk	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	3,7	4,3	1-2 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	4,8	5,3	1-2 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	3,3	5,3	1-2 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	2	2,6	1-2 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	3,7	5,1	1-2 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	2,7	1,7	1-2 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	7	7,6	1 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	4,8	4,9	1 h	Kuusela
AB 18	B160/220	0,7	5,6	7,1	1 h	Kuusela
Keskiarvo			3,1	3,7		
PAB-B 16	B500/800	0,7	1,3	1,5	1vrk	Meltaus
PAB-B 16	B500/800	0,7	1,2	1,5	1vrk	Meltaus
PAB-B 16	B500/800	0,7	1,5	1,4	1vrk	Meltaus
Keskiarvo			1,3	1,5		

Kenttälaboratorioille jaetussa menetelmäohjeessa ei otettu kantaa

- Kuinka vanhaa emulsion pitää olla / se saa olla, kun pesukoe tehdään. Tästä syystä näytteen ikä vaihteli suurestikin eri kohteissa. Pesukokeessa käytettävän emulsion ikä saattaa vaikuttaa tulokseen ainakin silloin, kun emulgointi on tehty kentällä ja tuote on tarkoitettu käytettäväksi heti. Jos emulsiota ei ole suunniteltu varastoitavaksi, muuttuu pesukokeessa saatava tulos huomattavasti muutaman päivän säilytyksessä.

- Mikä on bitumipohjaan lisätyn tartukkeen vaikutus, ts. onko pesukoe myös vedenkestävyyskoe. Koska tartukkeen vaikutusta ei voitu arvioida, ei tuloksille asetettu myöskään mitään raja-arvoja.

Kaikissa emulsiokohteissa ei pesukoetta valitettavasti käytetty, joten kokemuksia esim. pintaustyömailta ei saatu lainkaan. Päälysteiden valmistuksessa käytetyillä emulsioilla emulgaattorin ja bitumipohjaan lisätyn tartukkeen määriä ei ole ilmoitettu erikseen, vaan tiedossa on ainoastaan käytetty amiinin kokonaismäärä. Stabilointikohteista vastaavasti on tiedossa ainoastaan bitumipohjan tartukepitoisuudet eikä emulgaattorimäärää tai emulsion ikää testattaessa ole mainittu.

Laboratoriokokeisiin verrattuna kenttälaboratoriossa tehdyt pesukokeet eivät antaneet yhtä selkeitä eroja murtumisen etenemiselle eri materiaaleilla. Tähän on syynä ainakin

- Laboratoriokokeissa käytetyt materiaalit (sekä kiviainekset että sideaineet) valittiin toisistaan selvästi poikkeaviksi erojen korostamiseksi
- Kaikissa stabilointikohteissa (BEST) on käytetty koostumukseltaan samaa Neste Oy:n valmistamaa emulsiota. Kiviainekset eivät ole poikenneet toisistaan kovin paljoa, joten erot murtumisajoissa ovat pieniä. Eri kiviaineksista tehtyjen rinnakkaisnäytteiden keskiarvoissa on noin 1 g ero.
- Vaikka päälystemassoissa (AB ja PAB-B) käytetyt emulsiot valmistettiin kentällä, ne poikkesivat koostumukseltaan vain vähän toisistaan. Amiinin kokonaismäärä oli kaikissa emulsioissa 0,7 tai 0,8 %. Tuloksia on neljästä eri kiviaineksestä. Nopeiten murtava kiviaines oli Mustasuonkankaan koneasemapaikalla, jossa pesutulokset ovat selvästi muita suurempia.
- Menetelmäohjeissa vakioimatta ja tuloksien yhteydessä ilmoittamatta jäi monta murtumiseen vaikuttavaa seikkaa; emulsion ikä, pH-arvo sekä tartuke- ja emulgaattoripitoisuudet. Näiden tietojen puuttuminen vaikeuttaa tulosten arvostelua.

Eniten tuloksien keskiarvosta poikkeaa ABK, jossa sideaineena on käytetty EKB:a. Pesussa sideaine irtosi lähes kokonaan kiviaineksen pinnasta. Tämän havainnon selittää erikoiskovan bitumin heikko tarttuvuus kiviaineksen pintaan, mikä tuli koekohteissa esille tiivistyksen yhteydessä ja massaa silmämääräisesti tarkasteltaessa.

Kun otetaan huomioon laboratoriokokeisiin verrattuna suurempi näytekoko, huomataan seuraavaa:

- Stabilointiemulsiot ovat olleet tutkituista emulsioista epästabiileimpia, ja niiden murtuminen on ollut nopeampaa kuin yhdelläkään laboratoriossa tutkituista tuotteista. Kaikki stabiloinnit tehtiin paikallasekoituksena.
- PAB-B-päälysteissä käytetyt emulsiot vastaavat laboratorioselvitysten tuotteita 2 ja 3, AB-päälysteiden emulsiot ovat nopeammin murtuvia.

- Ero pesutuloksissa 15 ja 30 min välillä jää pieneksi, jatkossa on syytä kasvattaa näytteiden vanhennusiän eroa. Lyhin näytteen vanhennusaika voisi olla 5 tai 10 minuuttia.

Tulokset osoittavat, että pesukokeen ohje vaatii tarkennusta ennen kuin sen antama tieto on yksiselitteistä ja käyttökelpoista. Luvussa 5 esitetyt jatkotutkimukset on suunnattu kenttälaboratorioista saatujen kokemusten perusteella siten, että menetelmäohjeen tarkentamiseen tarvittava tieto olisi käytettävissä.

5 TARTUKKEEN JA AJAN VAIKUTUS EMULSION MURTUMISAIKAAN

5.1 Jatkoselvitysten sisältö

Jatkoselvityksissä käytettäväksi kokeiksi valittiin murtuvuusindeksi ja pesukoe. Edellä esitettyjen tulosten perusteella valittiin pesukokeessa käytettäväksi näytteiden vanhennusajoiksi 10, 30 ja 120 minuuttia. Pesukokeella on tarkoitus selvittää emulsion murtumisen alkamiseen kuluvaa aikaa ja murtumisen nopeutta sen alkaessa. Murtuvuusindeksi kuvaa murtumisajan kestoa eli sitä, kuinka kauan kuluu täydelliseen murtumiseen.

Jatkossa bitumiemulsioiden murtumiseen käytettävien menetelmien antamien tulosten luotettavuuden selvittämiseksi ja menetelmäohjeiden tarkentamiseksi tutkittiin seuraavien seikkojen vaikutuksia koetuloksiin:

- bitumipohjaan lisätty tartuke
- emulsion pH, tartukkeen ja pH:n välinen riippuvaisuus
- emulsion ikä

Tartukepitoisuuden vaikutusten selvittäminen katsottiin aiheelliseksi, koska lähes aina sekoitettaessa massa kuumentamattomasta kiviaineksesta tartukkeen käyttö on tarpeellista. Vastausta toivottiin myös kysymykseen, miten tartukkeen lisääminen vaikuttaa pesukokeen tuloksiin eli missä määrin menetelmä mittaa vedenkestävyyttä.

Ajan vakioimisen tarve puolestaan ilmeni kenttälaboratorioiden tulosten perusteella. Kun aikaa ei oltu määritelty, vaihteli kokeessa käytetyn emulsion ikä huomattavastikin eri työmailla.

Jatkotutkimuksissa käytettiin kolmea taulukossa 2 esitettyä emulsiota. Menetelmiä ei saatujen kokemusten perusteella tarkennettu, jotta tulokset olisivat edellä esitettyjen kanssa vertailukelpoisia.

Jatkoselvityksissä emulsioiden ikä vakioitiin aiempaa tarkemmin, jotta ikääntymisen merkitystä ensimmäisinä vuorokausina valmistamisen jälkeen pystytään arvioimaan. Emulsiot tutkittiin 1, 2 ja 7 vrk valmistamisesta.

5.2 Murtuvuusindeksi

Murtuvuusindeksimäärittäksiä tehtiin edellä saatujen kokemusten perusteella referenssimateriaalin rakeisuuskäyrään seulotulla kiviaineksella. Jotta voidaan päättää, onko hienoaaines lainkaan soveltuva kyseiseen kokeeseen, tehtiin määritykset myös <0,074 fraktiolla laajemman aineiston saamiseksi. Vertailuna käytettiin edelleen ruotsalaista referenssikiviainesta. Murtuvuuskokeiden tulokset on koottu taulukkoon 13.

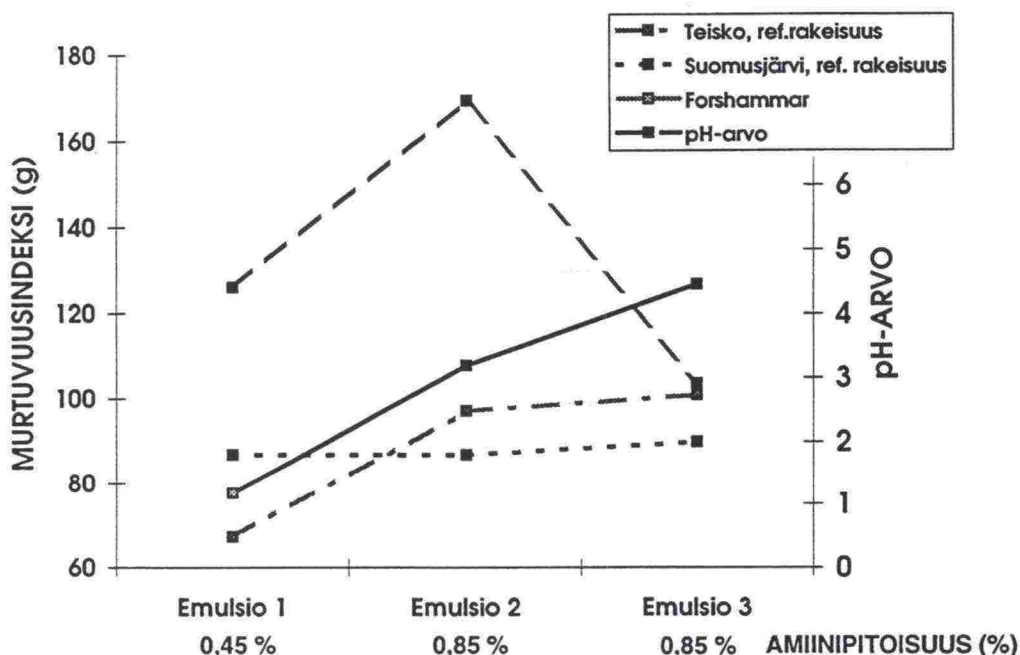
Taulukko 13. Ajan ja tartukkeen vaikutukset murtuvuusindeksiin

Emulsio	Ikä (vrk)	Teisko		Suomusjärvi		Forshammar
		ref-käyrä	< 0,074	ref-käyrä	< 0,074	ref-käyrä
5	1	77,3	38,4	84,2	46,6	80
5	2	67,2	40	86,8	42,7	77,6
5	7	65,2	39,4	72,9	41	77,2
6	1	107,6	49,4	86,5	49,8	107
6	2	97,2	46,1	86,9	49,1	107,8
6	7	84,2	48,0	88,4	45,8	95,3
7	1	95,3	56,7	97,4	54,3	117,9
7	2	96,5	51,4	97,1	52,4	115,7
7	7	94,4	49,1	95,6	54,1	118,8
8	1	107,6	60,7	91,6	53,0	132,6
8	2	100,8	52,1	89,8	52,0	126,7
8	7	96,2	50,1	82,8	50,8	122,8

Tulokset osoittavat seuraavaa:

- <0,074 mm fraktiolla absiluuttiset erot jäävät pieniksi ja menetelmän erottelukyky heikkenee tästä syystä merkittävästi. Tulokset vahvistavat jo aikaisemmin saatua käsitystä siitä, että hienoaines ei ole paras materiaali murtuvuusindeksin määrittämiseen. Kiviaineksen seulominen referenssimateriaalin käyrään parantaa erottelukykyä huomattavasti.
- Tartukkeettomalla emulsiolla 5 tulokset ovat lähellä aikaisemmin esitettyjen tartukkeettomien emulsioiden 2 ja 3 (emulgaattoria 0,2 ja 0,6 %) tuloksia, joten menetelmän toistettavuus on hyvä.
- Tartukkeen lisääminen pidensi murtumisaikaa huomattavasti. Bitumipohjaan lisätty tartuke toimii emulgaattorin tapaan. Tartukkeella oli murtumisajan kannalta huomattavasti keskeisempi vaikutus kuin esim. emulsion happamuudella, sillä tartukkeettoman emulsion 5 pH-arvo oli n. 4 ja tartukkeellisten emulsioiden 6 ja 7 välillä 6-7,5. Amiinin määrän ja pH-arvon vaikutus murtumisaikaan ilmenee kuvasta 8.
- Emulsioiden ikääntyessä ne neutraloituvat ja niiden stabiilisuus heikkenee. Stabiiliteetin pieneneminen on kuitenkin vain vähäistä.
- Kiviaineksen vaikutus murtumisaikaan korostuu tartukkeettomalla eli epästabiileimmalla sideaineella.

Taulukkoon 2 kirjatut happamuuden muutokset osoittavat, että emulgaattorina lisätty amiini nostaa emulsion pH-arvoa nopeasti emulsion valmistuksen jälkeen, mutta happamuus ei muutu ensimmäisen viikon kuluessa valmistuksesta merkittävästi.



Kuva 8. Amiinin määrän ja pH-arvon vaikutus emulsion murtumisaikaan

Tuloksista erityisesti huomattavaa on se, että tartukkeen lisääminen bitumipohjaan pidentää murtumisaikaa. Murtumisajan pidentyminen oli selvästi suurempaa Teiskon granodioriitilla. Käytetty tartukepitoisuus 0,4 % on lisäksi yleisesti käytettyyn tasoon nähden melko alhainen, ja vaikutus on todennäköisesti korkeammilla tartukepitoisuuksilla vielä huomattavampi.

5.3 Pesukoe

Pesukokeessa näytteen vanhennusajoiksi valittiin 10, 30 ja 120 min ja näytekokona käytettiin esitutkimuksissakin ollutta 50 g. Tulokset on koottu taulukkoon 14.

Kuten kenttälaboratorioitten tulokset antoivat odottaa, ei ainakaan tartukkeellisilla emulsioilla synny suurta eroa 10 ja 30 min vanhennettujen näytteiden pesutulosten välillä. Emulsiot ovat todennäköisesti niin stabiileja, että murtuminen ei näin lyhyessä ajassa ehdi kunnolla alkaa. Kahden toisistaan vain vähän poikkeavan lyhyen vanhennusajan käyttäminen on perusteltua vain nopeasti murtuvia emulsioita käytettäessä. Jatkossa massasovellutuksiin käytettäville emulsioille suositellaan vain yhtä vanhennusaikaa murtumisen alkuun kuluvan ajan selvittämiseksi.

Pintauskiviaineksella tutkittiin samoja emulsioita kuin Teiskon ja Suomensjärven murskeilla. Todellisiin pintaemulsioihin verrattuna kaikki tutkitut emulsiot ovat hyvin hitaasti murtuvia, ja karkeiden rakeiden pintaan murtui pitkänkin ajan kuluessa vain vähän sideainetta. Koska kentältäkään ei ole kokemuksia pesukokeesta nopeammin murtuvalla pintaemulsioilla, on menetelmän käyttökelpoisuus tältä osin selvittämättä.

Taulukko 14. Ajan ja tartukkeen vaikutukset pesukokeeseen

Emulsio	Ikä (vrk)	Teisko			Suomusjärvi			Karkkila (SIP)		
		10 min	30 min	120 min	10 min	30 min	120 min	10 min	30 min	120 min
5	1	0,9	1,1	2,0	1	1,1	1,9	0,4	0,3	0,3
5	2	0,9	1,1	2,2	0,9	1	1,8	0,2	0,5	0,4
5	7	0,8	1	2,2	1,2	1,4	1,6	0,5	0,6	0,4
6	1	0,7	1,8	1,7	0,5	4,1	1,2	0,2	0,5	0,8
6	2	0,6	0,7	1,8	0,6	0,8	1,8	0,2	0,4	0,8
6	7	1,1	1,2	1,8	0,9	1,0	1,3	0,1	0,1	0,2
7	1	0,1	1,5	1,3	0,2	0,4	0,7	0	0,1	0,1
7	2	0,3	0,4	1,2	0,2	0,5	0,5	0	0,2	0,1
7	7	0,8	0,5	1,9	0,2	0,5	0,8	0,1	0,2	0,4
8	1	0,2	-	0,8	0,1	-	0,6	0,1	-	0,4
8	2	0,4	-	1,1	0,2	-	1,0	0,1	-	0,5
8	7	0,4	-	1,3	0,5	-	1,3	0,3	-	0,9

Tulosten antama suunta on murtuvuusindeksin kanssa yhdenmukainen. Erityisesti voidaan havaita seuraavaa:

- Emulsioiden stabiilitetti heikkenee vain vähän ensimmäisen 7 vrk kuluessa valmistuksesta.
- Tartukkeen lisääminen hidastaa murtumista. Murtumisen hidastuminen ei pesukokeessa tule ilmi yhtä selvästi kuin murtuvuusindeksimäärittäyksissä, koska pesukokeen tulokseen vaikuttaa murtumisnopeuden lisäksi myös vedenkestävyys. Tartukkeen lisääminen hidastaa emulsion murtumista, mutta toisaalta vedenkestävyys paranee. Tämä pienentää tulosten välisiä eroja ja heikentää menetelmän erottelukykä.

6 YHTEENVETO

Tutkimus osoitti, että yksinkertaisen ja nopean mutta samalla luotettavan murtumistestin kehittäminen ei ole ongelmaton. Koska bitumiemulsioita käytetään ulkomailla varsin vähän massasovellutuksissa, ei murtumisaikaa määrittäviä menetelmiä ole kehitetty tätä tarkoitusta varten tai ainakaan niitä ei ole saatavilla. Emulsioiden luokitukseen käytettävät menetelmät eivät ainakaan yksinään ole tarkoituksenmukaisia silloin, kun massan käyttäytymisen kannalta on keskeistä emulsion ja kiviaineksen yhteensopivuus.

Saatujen tulosten perusteella suositellaan jatkossa käytettäväksi kahta murtumiskoetta, murtuvuusindeksiä ja pesukoetta. Esisuunnittelussa on perusteltua käyttää näitä menetelmiä rinnakkain. Kenttälaboratorion käyttöön on tarkoitettu pesukoe, jolla voidaan selvittää esim. reseptin tai olosuhteiden muutosten murtumisnopeuteen aiheuttaman vaikutuksen suuruutta.

Pesukokeella on näytteen vanhennusiän mukaan mahdollisuus tutkia murtumisen alkamiseen kuluva aikaa, murtumisen tehokkuutta pian sen alettua tai murtumisen kestoa. Murtuvuusindeksin todettiin kuvaavan tilannetta, jossa murtuminen on jo edennyt pitkälle eli menetelmä soveltuu parhaiten murtumisen keston tarkasteluun. Murtuvuusindeksi tehdään esisuunnitteluvaiheessa. Kiviaineksena kokeessa on kohteessa käytettävä materiaali, joka seulotaan menetelmässä emulsioiden vertailemiseen tarkoitetun referenssimateriaalin rakeisuutta vastaavaksi menetelmän erottelukyvyn parantamiseksi. Murtuvuusindeksin antama tulos kuvaa aikaa, joka kuluu emulsion täydelliseen murtumiseen. Menetelmällä voidaan siten arvioida aikaa, joka on käytettävissä massan levittämiseen ja tiivistämiseen sekoitushetkestä.

Pesukokeen laboratoriotulokset osoittivat, että murtumisen alkua ja etenemistä voidaan arvioida pesukokeen avulla. Hitaasti murtuvilla emulsioilla näytteen vanhennusaikojen tulee poiketa toisistaan huomattavasti selkeiden erojen havaitsemiseksi. Kentällä käytettyjen sideaineiden koostumuksissa oli vain vähäisiä eroja.

Murtumisaikatutkimuksissa selvisi, että bitumipohjaan lisätyllä tartukkeella on emulsion murtumisaikaa ratkaisevasti pidentävä vaikutus eli tartuke toimii emulgaattorin tapaan. Tätä seikkaa ei ole tähän asti otettu huomioon emulsioiden reseptejä suunniteltaessa.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin menetelmien käyttökelpoisuuden tutkimiseen tavoitteena emulsion murtumisnopeuden tutkimusvalmiuksien luominen. Koska tutkimuksessa ei selvitetty massojen ominaisuuksia, ei murtuvuuskokeista saataville tuloksille voida vielä asettaa massan työstettävyyden takaavia raja-arvoja. Jotta menetelmiä voidaan jatkossa käyttää esisuunnittelussa ilman, että massan käyttäytymisen ennustamiseksi on tarvetta massakokeille, tulee murtumiskokeilla saatavien tunnuslukujen ja massan käyttäytymisen välinen yhteys vielä selvittää.

PANK-4119

Menetelmäohje:	BITUMIEMULSION MURTUMISEN MÄÄRITTÄMINEN PESUKOKEELLA
Menetelmän tarkoitus:	Määrittää kationisen bitumiemulsion murtumisen alkuun kuluva aika ja murtumisen etenemisen nopeus käytettävän kiviaineksen kanssa.
Menetelmän periaate:	Käytettävään kiviainekseen sekoitetaan bitumiemulsiota. Näytteen annetaan vanheta ennalta valittu aika, jonka jälkeen näyte pestään vedellä. Tuloksena ilmoitetaan kiviainekseen tarttunut bitumin määrä (g).
Tarvittavat välineet:	<ul style="list-style-type: none"> - metallinen sekoitusastia ja -sauva - vaaka, punnitukset tehdään tarkkuudella 0,1 g - kuivausuuni - seulat # 4 ja 8 mm ja # < 4 mm tarvittavan kiviainesnäytteen valmistamiseen - seula # < 4 mm näytteen pesemiseen
Kokeen suorittaminen:	<p>Käytettävästä kiviaineksesta seulotaan lajitetta 4-8 mm, joka pestään hienoaineksen erottamiseksi ja kuivataan uunissa 110 °C, kunnes kaikki vesi on haihtunut. Jos menetelmää käytetään pintausten yhteydessä, on kiviaineksenä sirotteena käytettävä lajite, joka myös edellä kuvatulla tavalla pestään ja kuivataan. Työtä aloitettaessa kannattaa kiviainesta varata useamman kokeen tekemiseen. Emulsion murtumisen alkuun kuluvan ajan selvittämiseksi tarvitaan yleensä yksi tai kaksi eri ikäisille näytteille tehtävää pesukoetta. Jos halutaan lisäksi tutkia murtumisen kestoa, tarvitaan vielä kolmas näyte.</p> <p>Esitutkimus: Sekoitusastiaan punnitaan 50 g kuivaa kiviainesta ($m_{\text{kiviaines}}$). Kiviainekseen lisätään vettä 3 % (= 1,5 g), joka sekoitetaan tasaisesti kiviainekseen. Tämän jälkeen lisätään 5 g bitumiemulsiota, ja näytettä sekoitetaan sauvalla kunnes sideaine on jakautunut tasaisesti kiviainesrakeiden pinnoille.</p> <p>Kenttälaboratorio: Sekoitusastiaan punnitaan 250 g kuivaa kiviainesta ($m_{\text{kiviaines}}$). Kiviainekseen lisätään vettä 3 % (= 7,5 g), joka sekoitetaan tasaisesti kiviainekseen. Tämän jälkeen lisätään 25 g bitumiemulsiota, ja näytettä sekoitetaan sauvalla kunnes sideaine on jakautunut tasaisesti kiviainesrakeiden pinnoille.</p> <p>Kun kiviaineksenä on pintaussirote, lisätään vettä ja emulsiota 60 % edellisistä määristä.</p> <p>Näytteen annetaan vanheta huoneenlämmössä. Näytteet pestään, kun sekoituksesta on kulunut</p>

- 15 min, kun halutaan tutkia murtumisen alkuun kuluva-aikaa ja murtumistehokkuutta pian sen alettua
- 120 min, kun halutaan tutkia murtumisen kestoa

Jos 15 min näytteen pesutulos on lähellä nollaa, on kyseessä hyvin hitaasti murtuva emulsio. Murtumisen alkamisen ajankohdan tarkentamiseksi tehdään pesukoe myös 30 min ikäiselle näytteelle.

Seula, jonka päällä näyte pestään, kuivataan uunissa ja punnitaan (m_{seula}). Vanhennuksen jälkeen näyte kaadetaan sekoitusastiasta huolellisesti pesuseulan päälle. Näytettä pestään vedellä kunnes sideainetta ei enää erotu eli pesuvesi on kirkasta.

Pesty näyte asetetaan seulalla uuniin (110 °C) kuivamaan, jonka jälkeen kuiva näyte ja seula punnitaan ($m_{\text{seula} + \text{kuiva näyte}}$). Pesukokeen tuloksena ilmoitetaan grammoina kiviainekseen tarttunut bitumin määrä (m_{bitumi}), joka on

$$m_{\text{bitumi}} = m_{\text{seula} + \text{kuiva näyte}} - m_{\text{seula}} - m_{\text{kiviaines}}$$

Bitumiemulsion murtumisaika määritetään kerran päivässä tai aina emulsion reseptin tai materiaalien tai olosuhteiden muuttuessa.

PANK-4120

Menetelmäohje:**BITUMIEMULSION MURTUVUUSINDEKSI****Menetelmän tarkoitus:**

Määrittää kationisen bitumiemulsion murtumispiste. Murtumispisteellä tarkoitetaan sitä jäljempänä yksilöidyn kiviaineksen määrää, joka tarvitaan 100 g bitumiemulsion murtamiseen.

Menetelmän periaate:

Kokeessa bitumiemulsioon lisätään käytettävän kiviaineksen tiettyä fraktiota samanaikaisesti jatkuvasti sekoittaen. Emulsio on murtunut, kun kiviaines ja sideaine muodostavat astian reunoilta irtoavan paakun. Kun emulsio on täysin murtunut, määritetään punnitsemalla lisätyn kiviaineksen määrä. Murtuvuusindeksi ilmoitetaan emulsion murtamiseen tarvittun kiviaineksen massana (g).

Tarvittavat välineet:

- metallinen sekoitusastia, tilavuus n. 500 cm³
- metallinen sekoitussauva (käsineseoitus) tai sekoitin, jossa
 - * moottori, teho min. 25 W ja kierrosnopeus 260 rpm
 - * sekoitinlavat, kahden ristikkäisen siivekkeen pituus 70 mm, leveys 15 mm ja paksuus 0,5 mm
- vaaka, punnitukset tehdään tarkkuudella 0,1 g
- kiviaineksen syöttölaite, jonka syöttönopeutta voidaan säätää
- seulat # 0,074, 0,125, 0,25, 0,5 1 ja 2 mm

Kokeen suorittaminen:

Käytettävää kiviainesta seulotaan seuraavaan rakeisuuteen:

# 0,074	32 läpäisy-%
# 0,125	46
# 0,25	69
# 0,5	95
# 1	100

Kiviainesta kaadetaan syöttölaitteeseen, ja varmistetaan, että syöttönopeus on 0,3 g/s. Emulsionäyte temperoidaan 25 °C lämpötilaan. 100 g emulsiota kaadetaan sekoitusastiaan ja punnitaan yhdessä sekoitussauvan kanssa ($m_{\text{emulsio} + \text{astia}}$).

Kiviaineksen syöttö käynnistetään. Näytettä sekoitetaan jatkuvasti kiviaineksen lisäyksen ajan siten, että lisättävä materiaali jakautuu tasaisesti emulsioon. Kiviaineksen lisäyksen myötä sekoitettava emulsiomassa jäykkenee ja lopulta murtuu, kun massa irtoaa metalliastian sisäpinnalta. Massan murruttua kiviaineksen syöttö pysäytetään. Murtunut näyte punnitaan metalliastiassa yhdessä sekoittimen kanssa ($m_{\text{emulsio} + \text{kiviaines} + \text{astia}}$).

Murtuvuusindeksi (IREC) lasketaan seuraavasti:

$$\text{IREC} = m_{\text{emulsio} + \text{kiviaines} + \text{astia}} - m_{\text{emulsio} + \text{astia}}$$

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 55/1995 Alempiasteinen tieverkko ja kylien elinvoimaisuus. TIEL 3200331
- 56/1995 Talvi ja tieliikenne; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista. TIEL 3200332
- 57/1995 Road Traffic in Winter; Summary of publications in the research programme. TIEL 3200332E
- 58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - Ideakilpailu. TIEL 3200333
- 59/1995 Laatukriteerien määrittäminen laatuvarusturakentamista varten. TIEL 3200334
- 60/1995 Tien rakenteellisten hidastimien vaikutus ajodynamiikkaan. TIEL 3200335
- 61/1995 Tie maaseudun mahdollisuuksiin. TIEL 3200336
- 62/1995 Soratien tasaisuustunnusluku. TIEL 3200337
- 63/1995 Riista-aitakokeilu valtatiellä 6. TIEL 3200339
- 64/1995 Pääväylät kaupunkialueella - Kaupunkikuvalliset lähtökohdat. TIEL 3200339
- 65/1995 Tiehankkeen suunnittelu- ja päätöksentekoprosessin analyysi: Valtatie 7 välillä Koskenkylä-Loviisa. TIEL 3200340
- 66/1995 Teknologian siirto; Bauma 1995 -messut. TIEL 3200341
- 67/1995 Teiden ja siltojen kaiteet; Tyypipiirustuskaiteiden muotoitumahdollisuudet ulkonäön ja turvallisuuden kannalta, kaiteiden ja meluesteiden liittäminen penkereeltä sillalle. TIEL 3200343
- 68/1995 Mikkelin ohikulkutien vaikutusten jälkiseuranta. TIEL 3200344
- 69/1995 Asfalttimassan ominaisuuksien parantaminen lentotuhkalla. TIEL 3200345
- 70/1995 Suomalaisten päivittäiset toiminnot ja liikkumistarpeet. TIEL 3200246
- 71/1995 Liikennepolitiikkaa etsimässä. TIEL 3200347
- 72/1995 Tienrakennushankkeen suunnitelmien taloudellisuuden ohjaus. TIEL 3200348
- 73/1995 Polttoaineen hinta ja kotitalouksien autonkäyttö. TIEL 3200349
- 74/1995 Kunnittainen liikenne-ennuste 1995-2020. TIEL 3200350
- 75/1995 Teiden rakentamisen teknologian siirto ja innovaatiot, IV SPRINT Workshop
- 76/1995 Vt 3 väyläarkkitehtuuri. TIEL 3200351
- 77/1995 Liikenteen optimaalinen nopeus - onko sellaista? TIEL 3200352
- 78/1995 Liikennesektorin strateginen suunnittelu. TIEL 3200353
- 79/1995 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tieleikkausten pohjatutkimukset. TIEL 3200354
- 80/1995 Liikennejärjestelmän yhteiskuntataloudellinen perusta; Tutkimusohjelma. TIEL 3200355